



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO CAMPUS CARAÚBAS

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

EDOM JOBABE PEREIRA

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA MODELO DE REFRIGERAÇÃO

CARAÚBAS

2018

EDOM JOBABE PEREIRA

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA MODELO DE REFRIGERAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
campus Caraúbas como requisito para obtenção
do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Rudson de Souza Lima
Coorientador: Andersson Guimarães Oliveira

CARAÚBAS

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

P441b Pereira, Edom Jobabe.
Bancada didática para sistema de refrigeração
por absorção / Edom Jobabe Pereira. - 2018.
40 f. : il.

Orientador: Rudson Souza Lima.
Coorientador: Anderson Guimarães Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2018.

1. Refrigeração. 2. Bancada de testes. 3.
Condicionador de ar. I. Souza Lima, Rudson,
orient. II. Guimarães Oliveira, Anderson, co-
orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA
CAMPUS DE CARAÚBAS

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 15:00 horas do dia 12 de setembro do ano de 2018, na sala 4 do bloco de salas de aulas II da Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFERSA (Campus Caraúbas), sob a presidência do professor Rudson de Souza Lima, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno Edom Jobabe Pereira, aluno do curso de Engenharia Mecânica desta Universidade, com o título "*Desenvolvimento de Uma Bancada Modelo de Refrigeração*". A Banca Examinadora ficou assim constituída: Prof. Dr. Rudson de Souza Lima, presidente da banca e orientador do TCC; Prof. MSc Andersson Guimarães Oliveira, Prof. MSc Carlos Cássio de Alcântara. Foram registradas as seguintes ocorrências:

Atender às sugestões da banca examinadora. Fazer as correções sugeridas junto com o orientador.

Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, em reunião fechada, tendo o aluno obtido as seguintes notas: **10,0 (Dez vírgula zero)**; **9,0 (Nove vírgula Zero)** e **9,0 (Nove vírgula zero)**. Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi **Aprovado** com média geral **9,3 (Nove vírgula três)**, fazendo jus, portanto, ao título de Bacharel em engenharia Mecânica. E para constar, eu, Rudson de Souza Lima, presidente da banca lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos. Caraúbas, 12 de setembro de 2018.

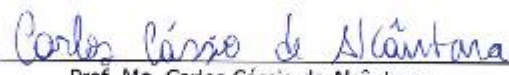
Assinatura dos membros da Banca Examinadora.



Prof. Dr. Rudson de Souza Lima
Presidente



Prof. Me. Andersson Guimarães Oliveira
Membro



Prof. Me. Carlos Cássio de Alcântara
Membro

Dedico este trabalho a minha querida irmã Sara Raquel Pereira (*in memoriam*). Pelo seu apoio e incentivo aos meus estudos. Muito inteligente sempre me ajudava nas horas difíceis com seu conhecimento ou sua forma particular de ofertar carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo o amor e dedicação, por terem se esforçado além de seus limites para me darem uma boa educação. Hoje mostro a eles que valeu a pena todo esforço e cobrança. Agradeço também por terem confiado em mim, acreditarem no meu potencial e se orgulharem a cada conquista.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rudson de Souza Lima pela orientação e, por todas as palavras construtivas, sugestões e incentivos que só vieram a acrescentar este trabalho, pela compreensão, disponibilidade e paciência assumindo o papel de um verdadeiro orientador.

A todos os professores da UFRSA que contribuíram para a minha formação acadêmica

A minha “pequena família”, irmãos, tios, tias, primos e primas, por me mostrarem valores e provarem a importância da união.

A Jéssica Analia minha esposa, pela sua inteligência, paciência, por sempre me incentivar, acreditar no meu potencial, me dar carinho e amor, e o mais importante sempre estar presente na minha vida.

Aos meus amigos por me acolherem nos momentos difíceis e disfrutarem de momentos importantes cheios de alegria em especial, Wanderson, Ana Paula, Diego, Lorena, Victor, Egina, Max, Arrilton, obrigado por sempre estar ao meu lado. E a pequena Alice, por poder participar da sua educação e em troca me retribuir carinho e momentos de descontração.

Aos meus amigos/companheiros de UFRSA, pela amizade e pelas conquistas durante esta jornada, período que somou bastante experiência e aprendizado, em especial Moises Eduardo, Pedro Henrique, Hudson Magnus, Lucas, e muitos outros, presentes em momentos eternizados em minha memória.

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin

RESUMO

A refrigeração é de grande valor para sociedade e está presente por toda parte, sendo fundamental para qualidade de vida da humanidade. Devido sua importância constantes transformações são necessárias para atender as necessidades desejadas. As pesquisas científicas desenvolvidas nas universidades são fundamentais para possibilitar essas transformações e promover constantes melhorias. Por meio desses estudos, teóricos e práticos, é possível apontar falhas e identificar características que possibilitem transformações nos utensílios e equipamentos utilizados. Para isso é necessário ter estruturas adequadas e que permitam o desenvolvimento desses estudos, tão importantes para sociedade. É nesse contexto que encontra-se a presente pesquisa, que teve como objetivo geral desenvolver uma bancada didática para testes de refrigeração. Foi realizada uma pesquisa a fim de escolher o modelo ideal a ser desenvolvido, como também quais os equipamentos e materiais necessários. Em posse de todos os equipamentos, foi realizada a montagem da bancada. Onde foram fixados separadamente a unidade evaporadora da unidade condensadora, com objetivo meramente didático, afim de, facilitar a fixação de instrumentos de mediação e componentes elétricos, como: manômetros; tubulações; e chaves de liga e desliga. A estrutura desenvolvida atendeu todos os objetivos da pesquisa, e possibilitou a realização de testes e observações fundamentais como: análises das condições do equipamento; funcionamento; monitoramento; e, testes e análises térmicas no equipamento.

Palavras-chave: refrigeração; bancada de testes; condicionador de ar

ABSTRACT

Refrigeration is of great value to society and is present everywhere, being fundamental to the quality of life humanity. Their bases are transformed to respond to the desired needs. Independent scientific research at universities is fundamental to enabling transformations and promoting constants. Why: studies, theoretical and practical, it is possible the emergence of failures and the use of resources that enable changes in the teeth and equipment used. Laws that provide accurate data and facilitate the development of studies are important to society. What is a context that is present, has as general objective to develop a didactic sheet for tests of refrigeration. An ideal end-of-model survey was developed, as well as the materials and materials required. In possession of all the equipment, a bench assembly was carried out. Where they were attached to an evaporator unit of the condensation unit, with the purpose of merely teaching, in order to facilitate the fixation of measuring instruments and electrical components, such as: manometers; pipes; and on / off switches. A developed structure met all the objectives of the research, and made possible the accomplishment of fundamental tests and observations like: analysis of the conditions of the equipment; operation; monitoring; and, tests and thermal analyzes in the equipment.

Keywords: refrigeration; bench test; air conditioner

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Split LG 9.000 BTUs	26
Figura 2	–	Unidade evaporadora	28
Figura 3	–	Unidade condensadora desmontada	28
Figura 4	–	Equipamento com placa.....	29
Figura 5	-	Equipamento sem placa.....	29
Figura 6	–	Local onde foi realizada a solda.....	29
Figura 7	–	Válvula de expansão e visor de líquido.....	30
Figura 8	–	Bancada finalizada	31
Figura 9	–	Gráfico gerado no software.....	32
Figura 10	–	Turbina do motor ventilador da evaporadora	33
Figura 11	–	Elementos congelados.....	33
Figura 12	–	Ventilador da condensadora	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Categorias das aplicações da refrigeração, definidas por Dossat.....	18
Tabela 2	–	Descrição dos principais tipos de evaporadores, segundo Tribess 2004	23
Tabela 3	–	Relação dos materiais utilizados, descrição de quantidade e valor	27
Tabela 4	–	Comparativo pressão x temperatura.....	31
Tabela 5	–	Comparativo dos valores aproximados de pressão nos ensaios 1 e 2.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

R22	Clorodifluoretano
CO ₂	Dióxido de carbono
HC	Hidrocarbonetos
COP	Coeficiente de performance
GI	Gestão da Informação
BTUs	Unidade térmica britânica
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semiárido
RN	Rio Grande do Norte

LISTA DE SÍMBOLOS

m	Metro
mm	Milímetro
”	Polegadas
kg	Quilogramas
\$	Cifrão
g	Gramas
°C	Graus Celsius
KPa	Quilopascal

Sumário

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	16
1.2 Objetivo geral.....	16
1.3 Objetivos específicos.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Refrigeração	17
2.2 Aplicações.....	18
2.3 Transferência de calor.....	19
2.4 Conforto térmico.....	20
2.5 Ciclo de refrigeração	20
2.6 Componentes do sistema de refrigeração.....	21
2.6.1 Compressor.....	21
2.6.2 Condensador	22
2.6.3 Dispositivos de expansão.....	22
2.6.4 Evaporador.....	22
2.7 Fluidos refrigerantes	24
2.8 Coeficiente de performance	24
3. METODOLOGIA.....	26
3.1 Materiais utilizados	27
3.2 Análise do condicionador de ar	27
3.3 Desenvolvimento	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
5 CONCLUSÕES.....	35
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	37
REFERÊNCIAS.....	377
ANEXO A.....	40

1 INTRODUÇÃO

A refrigeração tem um grande valor para a sociedade, está presente por toda a parte e é peça fundamental para qualidade de vida da humanidade. Seja nos lares, nas indústrias, comércios, restaurantes ou escolas, por toda parte é possível encontrar uma aplicação da refrigeração.

Nas últimas décadas é possível observar uma crescente demanda da refrigeração, que justifica-se principalmente pelos avanços e transformações sociais; crescimento econômico; e mudanças no estilo de vida adotado pela população (NIENCHESKI, 2010).

Para acompanhar o ritmo das transformações e exigências do mercado, os equipamentos e tecnologias de refrigeração passam por constantes mutações e melhorias, para atender da melhor maneira essas necessidades.

As pesquisas científicas desenvolvidas nas universidades são fundamentais para auxiliar essas constantes melhorias. Por meio desses estudos, teóricos e práticos, é possível apontar falhas e identificar características que possibilitem transformações fundamentais em equipamentos.

Segundo Salvador (1999, p. 14) “ a refrigeração pode ser caracterizada como qualquer processo que vise transferir continuamente a energia térmica de uma região de baixa temperatura para uma de maior temperatura”.

Devido a sua grande usualidade e importância nos dias atuais, é constante a busca por equipamentos cada vez mais eficientes, que atuem de maneira eficaz desenvolvendo da melhor forma suas funções básicas. É necessário que o sistema de condicionamento de ar seja capaz de controlar, no local a ser condicionado, as propriedades e parâmetros relacionados ao ar, como por exemplo: a temperatura, a umidade, o nível de ruído e a qualidade do ar interior. (LEONARDO; GOLDESTEIN JUNIOR, 2015).

Para garantir essa atuação eficaz do equipamento é necessário contar com estruturas que possibilitam esse processo, como por exemplo, as bancadas de teste. É nesse cenário que desenvolveu-se a presente pesquisa. Com enfoque principal na área de refrigeração, permitindo a prática dos conhecimentos de algumas disciplinas estudadas no curso de engenharia mecânica. A presente pesquisa desenvolveu uma bancada didática para testes de refrigeração, afim de auxiliar os discentes a aplicar os conhecimentos teóricos na prática.

1.1 Justificativa

A presente pesquisa justifica-se com base na necessidade de equipamentos, estruturas e elementos que possibilitem a aplicação da teoria na prática, para os acadêmicos.

Para a universidade, a pesquisa contribui com a criação de um equipamento que servirá de apoio para as aulas práticas de laboratório. Possibilitando o desenvolvimento de aulas mais didáticas e com melhor absorção do conhecimento.

Para os discentes, o alcance do objetivo dessa pesquisa resulta em mais uma ferramenta de auxílio e desenvolvimento de conhecimento prático.

A pesquisa também contribui com o campo científico, sendo fonte de informações para futuras pesquisas sobre o tema.

1.2 Objetivo geral

Criação de uma bancada didática de testes de refrigeração.

1.3 Objetivos específicos

- Aplicação de conhecimentos básicos das disciplinas de engenharia mecânica no condicionador de ar;
- Escolha de um modelo de bancada didática de testes, para ser desenvolvido;
- Orçamento das peças e equipamentos necessários para a criação da banca de testes escolhida;
- Manutenção do condicionador de ar utilizado na bancada de testes;
- Montagem da bancada;
- Testes;
- Análises térmicas no equipamento;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Refrigeração

A necessidade de encontrar maneiras que possibilitem o resfriamento de alimentos, ambientes e até mesmo outras substâncias, se dá desde a pré-história; onde já havia essa busca por meios que levassem a diminuição da temperatura (QUEIROZ, 2013).

Fatos datados dessa época apresentam técnicas primitivas que tinham como objetivo resfriar e conservar alimentos. Essa necessidade, que originou a usualidade do gelo, durante muitos séculos foi a única utilidade encontrada pelo homem para esta descoberta (FERRAZ; GOMES, 2008).

Percebe-se que desde então os meios de refrigeração são muito importantes para as civilizações. Apesar de na atualidade serem elementos fundamentais para o dia a dia da sociedade, essa carga de importância que é agregada a esses elementos não é tão atual.

Segundo Loesch, Santos e Garcia (2012) os meios de refrigeração são elementos importantes desde as civilizações mais antigas, no período onde os homens armazenavam o gelo que se formava em montanhas e encostas de rios, de uma forma bem manual, cavando poços e cobrindo com palha.

Ao longo dos séculos descobertas importantes para a ciência e tecnologia foram impactando no desenvolvimento dos equipamentos que possibilitavam as alterações de temperatura.

Um marco foi a criação do microscópio, já no final do século XVIII, que permitiu aos estudiosos perceberem alterações na reprodução de bactérias quando havia aplicação do frio (FERRAZ; GOMES, 2008). Esses autores evidenciam que após essa descoberta muitas outras se deram, como por exemplo, o surgimento da geladeira no século XIX, a eletricidade no século XX, que abriram caminho para muitas evoluções que foram acontecendo com o passar do tempo, inclusive aquelas específicas da área da refrigeração.

É possível definir a refrigeração como qualquer processo que promova a remoção de calor, ou, de uma forma mais específica pode-se dizer que: a refrigeração é uma área científica onde se aplicam processos de redução e conservação da temperatura (DOSSAT, 2004).

2.2 Aplicações

Tamanha sua importância e usabilidade nos dias atuais, várias são as possibilidades de aplicações da refrigeração. Com o passar dos anos e transformações que ocorreram nos elementos relacionados a refrigeração, é quase impossível imaginar o desenvolvimento e sobrevivência da humanidade sem sua utilização.

Sabendo-se então das inúmeras possibilidades de aplicações da refrigeração, é possível classificá-las em seis grupos, para permitir uma compreensão mais didática dessas possibilidades. Foi o que fez Dossat (2004), formulando seis categorias de aplicações, são elas: I refrigeração doméstica; II refrigeração comercial; III refrigeração industrial; IV refrigeração marítima e de transporte; V condicionamento de ar de conforto; e por fim, VI condicionamento industrial. Na Tabela 1 é possível observar as particularidades de cada uma dessas categorias.

Tabela 1 – Categorias das aplicações da refrigeração definidas por Dossat.

Categoria	Definição
I. Refrigeração doméstica	- área da refrigeração que envolve principalmente a fabricação de refrigeradores domésticos e congeladores caseiros.
II. Refrigeração comercial	- envolve ações como desenvolvimento de projetos, instalações e manutenções de equipamentos utilizados pelo comércio.
III. Refrigeração industrial	- semelhante à refrigeração comercial, este tipo se difere do anterior principalmente pelo porte dos equipamentos e pela necessidade de um operador de serviços.
IV. Refrigeração marítima e de transporte	- refrigeração marítima está relacionada a refrigeração a bordo de embarcações marítimas. Enquanto a refrigeração de transporte é aquela que trata de equipamentos de refrigeração em caminhões.

V. Condicionamento de ar de conforto	- condicionamento de ar que possui como foco o condicionamento para o conforto humano.
VI. Condicionamento de ar industrial	- tem como objetivos principais: controlar o teor de umidade de materiais hidroscópicos; controlar taxas de reações químicas e bioquímicas; limitar as variações de tamanho dos artigos de precisão manufaturados; e, garantir pureza.

Fonte: Adaptado de Dossat 2004.

2.3 Transferência de calor

Todas aquelas ações que envolvem passagem de calor entre substâncias, são entendidas como transferência de calor.

Este processo de transferência de energia ocorre sempre que existir variação de temperatura em um sistema ou quando acontecer o contato de dois sistemas que possuam temperaturas distintas (KREITH; MANGEK; BOHN, 2014).

Sendo possível afirmar que a transferência de calor é o trânsito de energia térmica que se dá pela existência de uma diferença de temperatura (CORRÊA, 2009).

Porém é importante salientar que existem dois mecanismos que podem promover esse processo de transferência de energia. Segundo Çengel e Ghajan (2012) esses mecanismos são a transferência de calor Q e trabalho W . Segundo os autores, é possível diferenciá-los pela força motriz, se a transferência de energia se dá por diferença de temperatura significa que o processo é transferência de calor, caso contrário, é trabalho.

A transferência de calor está presente em diversos pontos do cotidiano, auxiliando desde as atividades mais básicas, até atividades complexas desenvolvidas na sociedade. Çengel e Ghajan (2012) apontam como exemplos as seguintes aplicações:

- O corpo humano;
- Fogões;
- Aquecedores e ar-condicionado;
- Ferro de passar;

- Geladeira e freezer;
- Computadores, TVs, DVDs

2.4 Conforto térmico

Entende-se por conforto um estado onde alguém encontra-se em um ambiente ou situação agradável. Se tratando do termo conforto térmico, o estado de satisfação e conforto com o ambiente está diretamente relacionado à temperatura do mesmo.

Para Silva (2015) o conforto térmico é um fator fundamental para que os ambientes sejam mais agradáveis e apresentem uma melhor condição de habitabilidade. Segundo o autor, o conforto térmico é muito importante e influencia em várias áreas, como por exemplo: no desempenho no trabalho e na saúde.

É possível analisa-lo sob duas vertentes diferentes, o ponto de vista pessoal; e o ponto de vista ambiental (XAVIER, 2000). O autor caracteriza o aspecto pessoal como aquele onde uma pessoa sente-se confortável em um ambiente, tratando-se da sensação térmica. Enquanto o aspecto ambiental é aquele onde há uma interação de variáveis físicas do ambiente, a fim de desenvolverem condições termo ambientais que possibilitem agradar mais indivíduos possíveis.

Segundo Luizetto (2014) o conforto térmico pode ser afetado por duas ações principais. Primeiramente pela qualidade do projeto proposto e da maneira como ele for executado; e a outra forma é na realização de manutenções dos sistemas de ar condicionado e ventilação.

2.5 Ciclo de refrigeração

Pode-se definir como ciclo de refrigeração o processo onde o refrigerante circula por meio de um sistema, passando por transformações relacionadas ao estado ou a condição (DOSSAT, 2004). Segundo o autor esse ciclo se dá da seguinte forma: o refrigerante que parte de um estado ou condição inicial percorre uma sequência determinada de processos e retorna a sua condição inicial.

Existem diferentes tipos de ciclos de refrigeração, como por exemplo: o ciclo por compressão e o ciclo por absorção. O tipo de ciclo de refrigeração mais difundido atualmente é o sistema por compressão de vapor, no qual o efeito de refrigeração é alcançado por meio da retirada de calor do ambiente mediante a evaporação de um líquido (refrigerante) em baixas temperatura e pressão (MARQUES, 2010).

Corrêa (2009) afirma que o ciclo por compressão fundamenta-se na expansão de um fluido na transformação da fase líquida para a fase vapor. Esse tipo de sistema é composto por alguns elementos básicos, que são eles: o evaporador; o compressor; o condensador; e um dispositivo de expansão, segundo Marques (2010). As aplicações mais convencionais da refrigeração por compressão de vapor são no condicionamento de ar de ambientes; e no resfriamento e congelamento de produtos em equipamentos frigoríficos (GENIÊR; COSTA; COSTA JUNIOR, 2013).

2.6 Componentes do sistema de refrigeração

Quatro componentes fundamentais compõem os sistemas de refrigeração por compressão de vapor. Cada elemento com suas particularidades e atuando de forma sistêmica, possibilitam o acontecimento do ciclo de refrigeração. São eles: compressor; condensador; dispositivos de expansão; e evaporador (COSTA, 2014). Que serão descritos em seguida.

2.6.1 Compressor

O compressor pode ser caracterizado como um dos itens mais importantes dos sistemas de refrigeração por compressão de vapor. Sua ação permite o fluxo do fluido de trabalho do sistema, como também, impacta no aumento da pressão deste. É um equipamento que possibilita a compressão do fluido refrigerante de um estado de vapor superaquecido em baixa temperatura, para um estado de elevados índices de pressão e temperatura (MENDES, 2012).

Os compressores mais usados nos serviços de refrigeração são de três tipos, os alternativos, os rotativos e os centrífugos. Dossat (2004) os define da seguinte forma: os compressores alternativos e rotativos são aqueles de deslocamento positivo, nos quais a compressão do vapor é efetuada mecanicamente por meio de um elemento de compressão. Uma diferença entre eles é justamente o elemento de compressão, que no caso dos alternativos o elemento é um pistão alternativo, enquanto no rotativo o elemento é um rolo, aleta ou lóbulo. Já o compressor centrífugo, o autor caracteriza pela falta desse elemento de compressão; nesse caso a compressão do vapor é realizada originalmente pela ação de uma força centrífuga originada quando o vapor é girado por um rotor de alta velocidade.

2.6.2 Condensador

O condensador é um equipamento que pode ser definido como aquele que realiza trocas de calor, que pode desenvolver várias configurações. Essas diversas configurações irão variar baseadas nas necessidades das aplicações que serão utilizadas (CUZZUOL, 2014).

Essas configurações são caracterizadas em três tipos gerais, resfriado a ar; resfriado a água; e evaporativo.

O que caracteriza os condensadores resfriados a ar é a utilização do ar como meio de condensação, no caso dos resfriados a água, essa por sua vez, que faz esse papel. Nos dois tipos de condensadores o calor cedido pelo refrigerante de condensação eleva a temperatura do ar ou água que são empregados como meio de condensação. Enquanto o tipo evaporativo é marcado pela utilização de ambos, ar e água (DOSSAT, 2004).

2.6.3 Dispositivos de expansão

Os dispositivos de expansão são elementos que estão aliados aos compressores a fim de determinar a vazão do fluido refrigerante (CUZZUOL, 2014). Existem alguns tipos de dispositivos de expansão que podem ser utilizados, como: as válvulas de expansão e os tubos capilares.

Segundo Zigmantas (2006) o processo que envolve os dispositivos de expansão se dá da seguinte forma: um fluido refrigerante no estado líquido sub-resfriado, que sai do condensador, entra no dispositivo de expansão. No dispositivo irá acontecer uma expansão isoentálpica, que provocará queda de pressão e temperatura. Ao sair deste dispositivo, o fluido encontra-se em condições de mistura líquido-vapor (vapor úmido).

São os elementos de expansão que regulam a vazão dos fluidos refrigerantes que transpõem no evaporador, reduzindo a pressão de condensação e de evaporação (COSTA, 2014).

2.6.4 Evaporador

O evaporador é um equipamento que tem como objetivo promover a retirada de calor do meio que se busca refrigerar, diminuindo a temperatura, através da evaporação da mistura líquido vapor em baixa pressão, com temperatura proveniente do dispositivo de expansão (ZIGMANTAS, 2006).

Assim como o condensador, é possível afirmar que o evaporador consiste num trocador de calor (COSTA, 2014). Tendo como função possibilitar a vaporização do fluido refrigerante, por meio da absorção de calor do fluido que será resfriada (MARQUES, 2010).

É possível classificar os evaporadores em três grupos principais, são eles: evaporadores tipo tubo e aletas; evaporadores tipo serpentina; evaporadores tipo placas. Em seguida tem-se uma tabela com a descrição de cada um deles, com base nas definições de Tribes, 2004.

Tabela 2 – Descrição dos principais tipos de evaporadores, segundo Tribess 2004.

Tipo de evaporador	Características	Desempenho
Tubo e aletas	Formados por placas planas paralelas, que são atravessadas por tubos que conduzem o fluido refrigerante. As placas aumentam a área de troca de calor, assim como no condensador.	Fácil construção e baixo desempenho por unidade de volume.
Serpentina	Formados por tubos contínuos de seção retangular, dobrados em formato de serpentina e unidos por aletas, soldados ao tubo.	Oferece eficiência superior à dos tubos e aletas.
Placas	Composto por placas metálicas dotadas de canais internos. Esses canais distribuem o fluido de uma extremidade à outra da placa, até os coletores receptores que irão conduzir à próxima placa.	Esse tipo de construção é a que apresenta maior desempenho dentro os três.

Fonte: Adaptado de Tribess, 2004.

2.7 Fluidos refrigerantes

Os fluidos refrigerantes podem ser definidos de maneira objetiva como fluidos de trabalho que possuem o transporte de calor em um ciclo de refrigeração, como função principal (MARQUES, 2010).

Esses fluidos são fortes motivações de pesquisas sobre os impactos do funcionamento dos sistemas de refrigeração sobre o meio ambiente. Com base nisso que durante décadas buscou-se testar diversas substancias, a fim de encontrar aquelas que efetivamente pudessem ser usadas como fluidos de trabalho em sistemas de refrigeração, e que não gerassem tantos danos ao meio ambiente (PEREIRA, 2010). Segundo o autor, durante esse período de pesquisas e testes foram utilizados elementos naturais, como a amônia e o CO₂, passando posteriormente a usar os hidrocarbonetos (HC). Até se chegar as substancias sintéticas produzidas em laboratórios nos dias atuais, com base nas necessidades específicas de cada sistema.

É possível classificá-los, de uma maneira geral, nas categorias abaixo, conforme Marques (2010).

- Hidrocarbonetos halogenados
- Misturas não azeotrópicas de hidrocarbonetos halogenados
- Misturas azeotrópicas de hidrocarbonetos halogenados
- Compostos orgânicos
- Compostos inorgânicos

É o fluido refrigerante que absorve o calor de uma substancia do ambiente a ser resfriado. E, de acordo com os objetivos esperados e as condições de trabalho, é escolhido o fluido mais adequado. Sabendo-se que não se tem um refrigerante que contenha todas as qualidades consideradas ideais (GENIÊR; COSTA; COSTA JUNIOR, 2013).

Dentre os fluidos mais comuns pode-se citar o R-22, que tem como principais aplicações os diversos sistemas de climatização residenciais, comerciais e industriais (MARQUES, 2010).

2.8 Coeficiente de performance

O coeficiente de performance permite a análise da eficiência energética dos sistemas de refrigeração e pode ser caracterizado como uma grandeza adimensional. Utiliza-se frequentemente o COP para avaliar a relação entre a capacidade de refrigeração obtida e o trabalho gasto (ALMEIDA et al., 2008). Como mostra a equação 1 que define o COP.

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_c} \quad (1)$$

Onde $\dot{Q}_e$ representa a potência de refrigeração (kW) e $\dot{W}_c$ é a potência de compressão (kW). Pelo princípio da conservação de energia temos que a potência de compressão é igual a potência de refrigeração subtraída da potência de calor removida como mostra a equação 2.

$$\dot{W}_c = \dot{Q}_e - \dot{Q}_c \quad (2)$$

Aplicando o princípio da conservação da massa na equação 2 podemos redefini-la, como mostra a equação 3.

$$\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{m}} - \frac{\dot{Q}_c}{\dot{m}} \quad (3)$$

Então podemos expressar o coeficiente de performance conforme a equação 4

$$COP = \frac{T_e}{T_e - T_c} \quad (4)$$

3. METODOLOGIA

Com a definição do tema e desenvolvimento da ideia de trabalhar com a bancada de testes de refrigeração, buscou-se conhecer os aspectos teóricos inerentes ao tema. Para que, com base na teoria e nas necessidades encontradas nos laboratórios da instituição, fosse possível realizar um projeto eficiente e que atendesse às demandas existentes.

Após o levantamento teórico, foram identificados os equipamentos necessários para a montagem da bancada e iniciou-se a busca por estes. Foi recebida uma doação de um condicionador de ar modelo Split LG 9.000 BTUs, similar ao apresentado na figura 1, que necessitava de reparos e adequações para que pudesse ser utilizado no experimento.

Figura 1 - Split LG 9.000 BTUs



Em posse do equipamento, realizou-se uma inspeção a fim de fazer um levantamento das peças necessárias para utilização do mesmo nesta pesquisa. A decisão de utilização de uma central de ar do tipo Hi wall – Split, foi pensada afim de facilitar o desenvolvimento do trabalho e dos testes e observações. E, com base nos conhecimentos teóricos e na revisão bibliográfica realizada, foi possível elencar as funções necessárias da bancada de refrigeração.

Com objetivo meramente didático, foi definido que a unidade evaporadora ficaria fixada na bancada separada da unidade condensadora. O que facilitou a fixação de instrumentos de mediação e componentes elétricos, como: manômetros; tubulações; e chaves de liga e desliga. Para o monitoramento da temperatura foram utilizados quatro termopares, já para o monitoramento da pressão utilizou-se quatro manômetros.

3.1 Materiais utilizados

Para o desenvolvimento da presente pesquisa foi necessária a utilização de equipamentos e materiais listados Tabela 3.

Tabela 3 – Relação dos materiais utilizados, descrição de quantidade e valor.

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR (R\$)
Tubulação de cobre de ¼"	04 metros	24,40
Tubulação de cobre 3/8"	03 metros	30,20
Cabo PP 2x1,5mm	04 metros	9,20
Gás refrigerante R22	1 Kg	57,00
Manômetros de alta pressão	02 unidades	52,00
Manômetros de baixa pressão	02 unidades	56,00
Porca flange de ¼"	12 unidades	33,60
Porca flange de 3/8"	04 unidades	13,20
Válvula de regulação		85,00
Fita isolante	20 metros	5,50
Termopar tipo K	04 unidades	108,00
Disjuntor de 10 amperes	1 unidade	14,00
Chaves de liga e desliga	2 unidades	15,60
Bancada de ferro e metalon	01 unidade	200,00
Isolante tipo esponjoso ¼"	04 metros	4,00
Isolante tipo esponjoso 3/8"	03 metros	5,00
Reparo em condensadora (solda)	Serviço	40,00
Visualizador de líquido	01 unidade	77,00
Rolamento 608	02 unidades	25,00
Total		854,70

Verifica-se na Tabela 3 que também foi considerada a cotação do material empregado com objetivo de auxiliar na estimativa final de custo da bancada.

3.2 Análise do condicionador de ar

Inicialmente, realizou-se o processo de desmontagem das unidades evaporadora e condensadora, para inspeção visual e levantamento dos componentes danificados e elaboração da relação de materiais necessários para funcionamento adequado do equipamento. O aparelho

foi usado durante muito tempo e ao apresentar defeito de funcionamento foi doado pelo seu proprietário para o desenvolvimento dessa pesquisa. Em seguida serão apresentadas algumas figuras dos equipamentos, são elas a Figura 2 que apresenta a unidade evaporadora desmontada; e a Figura 3 onde é possível observar a unidade condensadora desmontada.

Figura 2 – Unidade evaporadora desmontada



Figura 3 - Unidade condensadora desmontada



Como base na análise realizada e identificação das necessidades do equipamento, deu-se início ao processo de limpeza e realização de reparos necessários. Na unidade evaporadora foi realizada limpeza e remoção da placa eletrônica utilizada no equipamento. A remoção deste item foi feita a fim de permitir a ligação direta e independente do motor do ventilador da turbina. Em seguida, as Figuras 4 e 5, mostram o equipamento antes e depois desse procedimento.

Figura 4 – Equipamento com placa

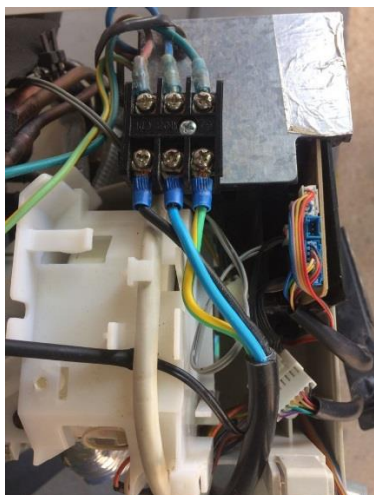
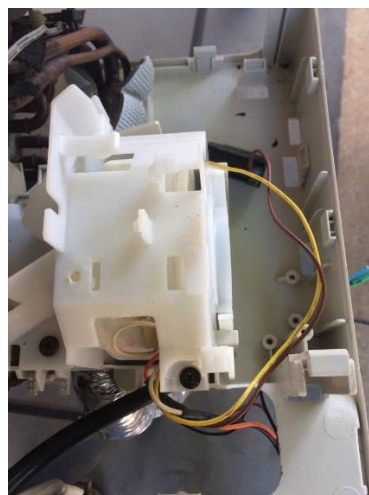
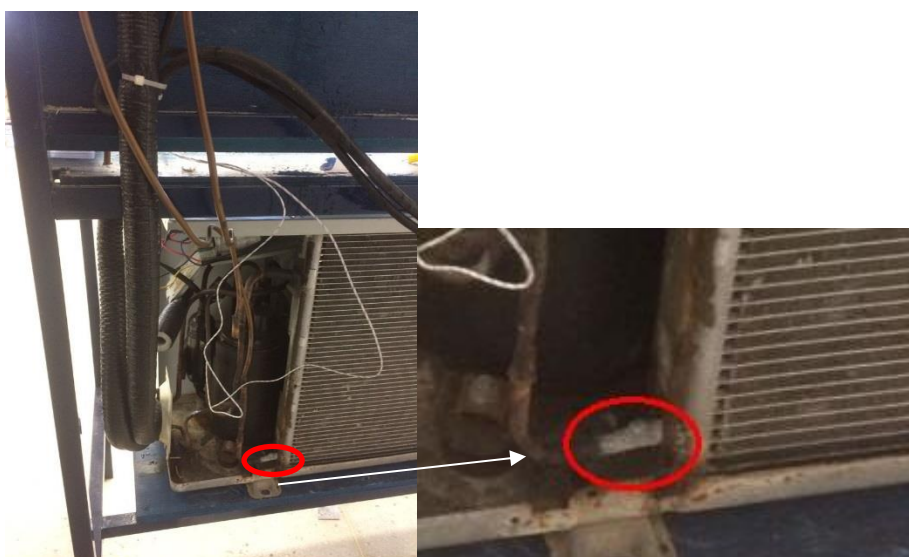


Figura 5 – Equipamento sem placa



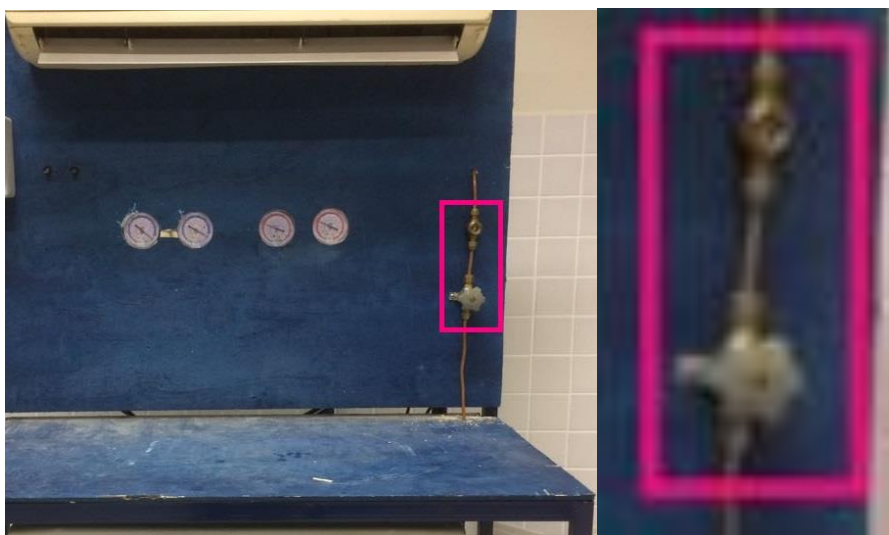
Na unidade condensadora foi feito um teste de estanqueidade e constatado um vazamento na serpentina. Para correção do mesmo foi necessário a realização de uma solda oxigás (realizado por um mecânico especializado). Na Figura 6 é possível observar o local da solda. Ainda na unidade condensadora, foi realizada a remoção de uma carenagem lateral, com intuito de permitir uma melhor visualização do compressor e componentes internos da unidade condensadora.

Figura 6 - Local onde foi realizada a solda



Por fim, na unidade condensadora, foi removido o dispositivo de expansão do tipo tubo capilar. O mesmo foi substituído por uma válvula de expansão que tem sua abertura variada manualmente, possibilitando diferentes situações com pequenas alterações na passagem do fluido refrigerante. Também foi instalado um visor de líquido para melhor observação dos efeitos de regulagem da válvula de expansão, a mesma foi realocada na parte frontal da bancada facilitando seu manuseio conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Válvula de expansão e visor de líquido.



Após a realização desses procedimentos no condicionador de ar, deu-se início ao processo de montagem da bancada de testes de refrigeração.

3.3 Desenvolvimento

Para dar início ao processo de montagem da bancada de refrigeração, foi necessário realizar uma recarga de gás para que o equipamento utilizado ficasse em perfeito estado de funcionamento. Foram utilizados 550 gramas de gás R22, nesse procedimento. Foram realizadas também as ligações elétricas dos componentes e a instalação de manômetros.

A banca utilizada para realização desta pesquisa foi desenvolvida pelo autor do trabalho, e fabricada em uma empresa especializada em metalurgia na cidade de Mossoró-RN, com as informações passadas pelo discente.

Após a finalização da bancada, a mesma foi levada para UFERSA e colocada em um local adequado no laboratório de termo fluídos. Foi então que se iniciou o processo de montagem, com a fixação do condicionador de ar e inserção dos componentes só sistema. O processo teve início com a colocação da unidade evaporadora e em seguida a unidade condensadora; após a fixação desses equipamentos foi feita a instalação de manômetros, válvula de expansão, tubulações e componentes elétricos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a bancada didática de testes de refrigeração finalizada, foi possível realizar alguns testes e analisar as condições oriundas destes. Os resultados que foram possíveis observar dos testes realizados na bancada, estão relacionados ao funcionamento e monitoramento das temperaturas e pressões do equipamento. Na Figura 8 é possível visualizar a bancada finalizada.

Figura 8 – Bancada finalizada



O controle e monitoramento das temperaturas e pressões foram feitos por meio de dois elementos principais, termopares e manômetros. Identificados como: termopar EE – entrada do evaporador; termopar SE saída do evaporador; termopar EC – entrada do condensador; termopar SC – saída do condensador; manômetro 01 – entrada do evaporador; manômetro 02 – saída do evaporador; manômetro 03 – entrada do condensador; manômetro 04 – saída do condensador.

O primeiro ensaio realizado buscou analisar os valores encontrados de temperatura e pressão. Com base nos valores obtidos por meio do monitoramento do equipamento, foi possível realizar análises comparativas de temperatura e pressão, com auxílio da tabela de conversão termodinâmica do R22.

Foram realizados cálculos para encontrar o coeficiente de performance do refrigerador, que se dá através da relação entre pressão e temperatura.

Para realizar o ensaio, que possibilitou calcular o COP, foi necessário estabilizar a pressão de sucção do compressor em 500 KPa. Essa estabilidade se deu por meio de um controle manual da válvula de pressão, até atingir a pressão ideal. Tal situação foi medida e comparada com a tabela termodinâmica do fluido refrigerante R22, como é possível observar na Tabela 4.

Tabela 4 - Comparativo pressão x temperatura

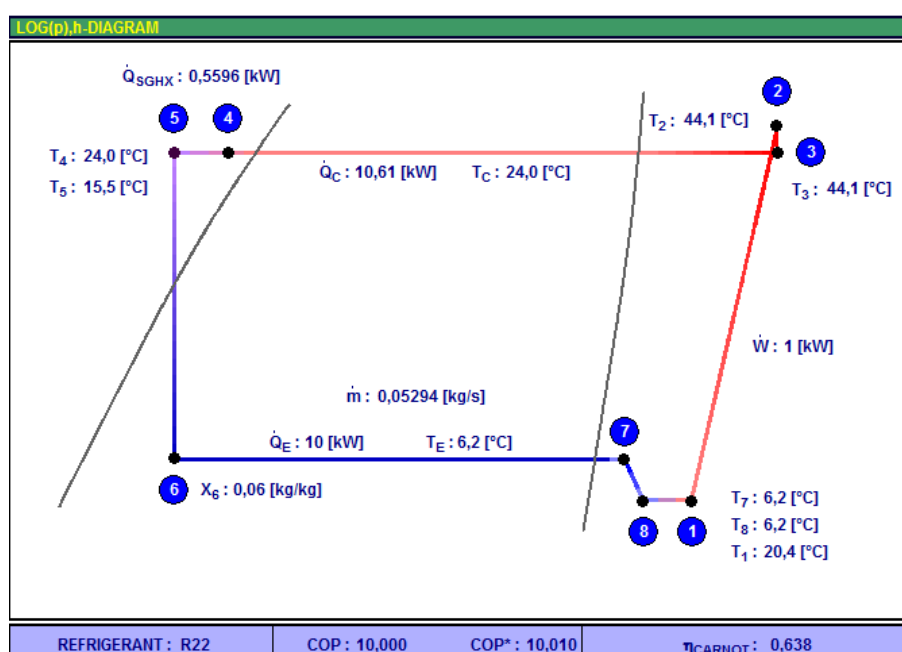
	Pressão	Temperatura
	M1	T1
Valor Obtido	450 KPa	5°C
Valor Tabelaado	450 KPa	-3,8°C

A Tabela 4 nos mostra um comparativo entre os valores de pressão e temperatura obtidos no primeiro ensaio e os valores de referência tabelados em bibliografia consultada. É possível observar uma significativa diferença entre os valores práticos e reais, tal diferença pode estar associada a diversos fatores que não foram relevantes a essa pesquisa, como por exemplo: aferição de manômetros, termopar em contato direto com o fluido refrigerante, isolamento de termopares e tubulações, entre outros.

É importante salientar que durante esse ensaio foi constatada uma diferença de pressão nos manômetros 1 e 2. Tal diferença está associada a troca de calor na unidade evaporadora. Pois o fluido refrigerante entra na evaporadora a uma pressão de 450 KPa, ganha calor e sofre um aumento de pressão.

Com o auxílio do software Coolpack e os valores de temperatura obtidos neste ensaio, foi possível gerar o gráfico representado na Figura 9. Com os dados inseridos no software foi possível esboçar o ciclo termodinâmico do ensaio, obter o COP, a vazão mássica do compressor e a eficiência do ciclo.

Figura 9 - Gráfico gerado no software



Após a observação dessas análises iniciais, foram realizados mais dois ensaios comparativos. Tais ensaios não podem ser quantificados por não atingirem valores de temperatura e pressão estáveis.

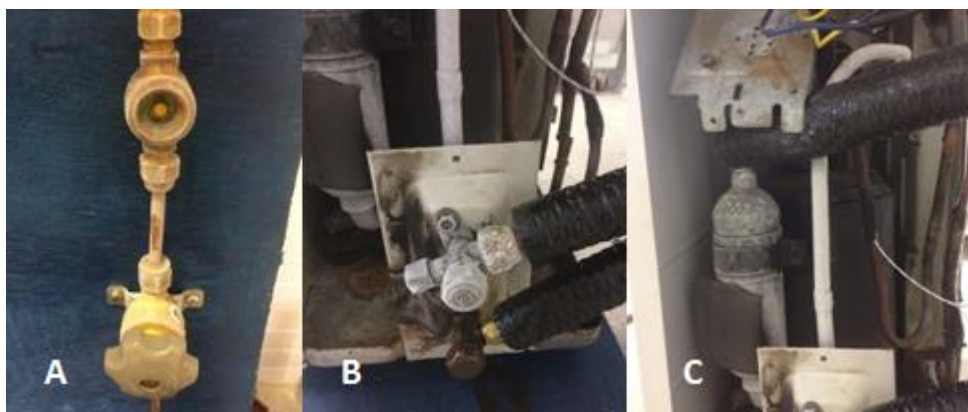
O primeiro ensaio realizado nessa segunda fase de observações, foi desligando o motor ventilador da unidade evaporada, para análises. A Figura 10 representa o motor ventilador da unidade evaporadora.

Figura 10 - Turbina do motor ventilador da evaporadora



Nesse ensaio foi possível observar a queda da pressão nos manômetros instalados na entrada do trocador de calor evaporativo. Foi observado também o congelamento de alguns elementos, como: válvula de expansão; visualizador de líquido; trocador de calor evaporativo; tubulações, até chegar ao acumulador de líquidos. Isso aconteceu devido à queda de temperatura e pode ser observado na Figura 10, onde o item A representa o visor de líquido e válvula de regulação congelados; o item B a válvula de serviço congelada; e o item C a linha de sucção e acumulador de líquido congelados.

Figura 11 – Elementos congelados: A – visor de líquido, B – válvula de serviço, C- linha de sucção e acumulador de líquido.



Já no ensaio seguinte, o motor ventilador da unidade evaporadora foi reativado e desligou-se o motor ventilador da unidade condensadora (Figura 11). Foi possível observar o aumento significativo dos valores de pressão dos manômetros e consequentemente os de temperatura também. Ocasionalmente um superaquecimento do compressor.

Figura 12 - Ventilador da condensadora



A Tabela 5 apresenta os valores de pressão, nos dois últimos ensaios. Onde houve o desligamento dos ventiladores. O ensaio com o desligamento do motor ventilador da unidade evaporadora está identificado como ensaio 1, enquanto o ensaio que fez o desligamento desse elemento na unidade condensadora está identificado como ensaio 2. Essa tabela possibilita a análise e comparação destes valores de pressão.

Tabela 5 – Comparativo dos valores aproximados de pressão nos ensaios 1 e 2

Ensaio 1	Ensaio 2
207 kPa	1724 kPa

É importante frisar que os valores apresentados na tabela são valores aproximados. Pois não é possível aguardar o momento ideal onde ocorre a estabilização de temperatura e pressão. No ensaio 1 não é possível devido ao risco de retorno de líquido para o compressor, que resultaria no calço hidráulico do compressor. Já no ensaio 2 isso justifica-se com base na elevação da temperatura que ocasionaria o desligamento do dispositivo, que entraria em proteção térmica. Essa função, de proteção térmica, encontra-se na maioria dos equipamentos e é oriundo da fabricação do mesmo, a fim de promover uma proteção em situações de risco como a que foi mencionada acima.

5 CONCLUSÕES

A presente pesquisa construiu uma bancada de testes de refrigeração, que representa um instrumento de aplicação de conhecimentos práticos, de fácil manuseio e observação dos seus componentes. Onde foi possível, ao longo do processo, aplicar diversos conhecimentos de disciplinas do curso de engenharia mecânica.

Foi desenvolvida uma estrutura que atendeu todas as necessidades esperadas, favorecendo realização de experimentos variados, e observação de pressões e temperaturas inerentes ao funcionamento da mesma. Isso só foi possível devido a escolha acertada do modelo de bancada a ser utilizado, aliado aos levantamentos e orçamentos de materiais eficientes. Esses processos e a manutenção realizada no condicionador de ar, foram fundamentais para a montagem adequada da bancada.

Foi possível realizar testes e observações fundamentais para o êxito desta pesquisa, como: análises das condições do equipamento; funcionamento; monitoramento; montagem dos elementos; testes e análises térmicas no equipamento.

A bancada de testes construída nessa pesquisa permitirá a aplicação dos conhecimentos estudados nas disciplinas de refrigeração, sendo um elo entre teoria e prática, contribuindo com o desenvolvimento e formação dos futuros discentes do curso de engenharia mecânica da UFERSA- campus Caraúbas.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros sugere-se:

- Caracterizar os componentes com objetivo de obter uma folha de dados e procedimentos guiados.
- Identificar problemas e propor ações de melhoria.
- Análise dos modos de falha do ponto de vista termodinâmico.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Igor Marcel Gomes et al. Análise experimental do coeficiente de performance de um refrigerador de pequeno porte operando com misturas zeotrópicas. In: V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 5º., 2008, Salvador. **CONEM 2008** ... Salvador: [s.n.], 2008. p. 1-9. Disponível em: <<http://s/l>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de Calor e Massa** : Uma abordagem prática. 4ª. ed. Brasil: AMGH Editora Ltda, 2012. 902 p.

CORRÊA, Gilberto Arejano. **Avaliação de sistemas integrados de refrigeração e sua aplicação na indústria pesqueira** . 2009. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências de Alimentos)- Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2009.

COSTA, Fernando Nascimento. **Análise comparativa da válvula de expansão eletrônica e do tubo capilar em sistemas de refrigeração** . 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

CUZZOL, João Paulo Pinto. **Sistema de detecção e diagnóstico de falha aplicado a instalações de refrigeração por compressão de vapor** . 2014. 130 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

DOSSAT, Roy J. **Princípios de refrigeração: teoria, prática, exemplos, problemas, soluções** . São Paulo: Hemus, 2004. 883 p.

FERRAZ, F.; GOMES, M. **O histórico da refrigeração**. Curso de eletromecânica. Santo Amaro. 2009. Apostila de refrigeração.

GENIÊR, Francielli Silva; COSTA, Andréa Oliveira Souza da; COSTA JUNIOR, Esly Ferreira da. Ciclos de Refrigeração: Conceitos e estudos de eficiência. **Enciclopédia Biosfera** , Goiânia, v. 9, n. 16, p. 2878-2894, jul. 2013. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/engenharias/Ciclos%20de%20refrigeracao.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

KREITH, Frank; MANGLIK, Raj M.; BOHN, Mark S. **Princípios de transferência de calor** . 7ª. ed. São Paulo: Editora Norte Americana, 2014. 590 p.

LEONARDO, Marcos Túlio Gurjão; GOLDSTEIN JUNIOR, Walter Marinho. **Análise de manutenção centrada em confiabilidade aplicada ao sistema de ar condicionado de um ônibus de uso urbano no Rio de Janeiro** . 2015. 140 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica)- CEFET/RJ, São Paulo, 2015.

LOESCH, Alexandro Vammes; SANTOS, Andrei dos; GARCIA, Marciano Emanuel. **Bancada didática para testes de falhas de sistemas de refrigeração** . 2012. 72 f. Trabalho de diplomação (Curso superior de tecnologia em manutenção industrial)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2012.

LUIZETTO, Luciano E. F. **Conforto térmico em ambientes de escritório** . 2014. 69 f. Monografia (MBA em Gerenciamento de Facilidades)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MARQUES, João Carlos Borges. **Análise de desempenho de um refrigerador de pequeno porte com drop in de refrigerantes hidrocarbonetos** . 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

MENDES, Thiago. **Diagnóstico termodinâmico aplicado a um sistema de refrigeração por compressão de vapor** . 2011. 204 f. Dissertação (Programa de pós-graduação em engenharia mecânica)- Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.

NIENCHESKI, Henrique Zuardi. **Balanço calorimétrico de um condensador evaporativo** . 2010. 28 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PEREIRA, Ronay de Andrade. **Uma nova metodologia para o cálculo do impacto das aplicações de refrigeração residenciais sobre o aquecimento global** . 2010. 156 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas)- Faculdade de tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

QUEIROZ, Márcio Henrique Bastos de. **Bancada didática para sistema de refrigeração por absorção** . 2013. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Eletromecânica)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.

SALVADOR, Francisco. **Projeto de um sistema de refrigeração industrial com 'set-point' variável** . 1999. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SILVA, Marcos Vinicius Lopes Rodrigues. **Simulação dinâmica de um ciclo de refrigeração para comparação energética de refrigerantes inflamáveis** . 2015. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade federal do rio de janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

XAVIER, Antonio Augusto de Paula. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias** : Teoria física aliada a estudos de campo. 2000. 26 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

ZIGMANTAS, Paulo Vitor de Matos. **Simulação de sistemas de simples estágios de refrigeração por compressão de vapor** . 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

ANEXO A – DIAGRAMA

